Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 6, Feb.-Mar. 2022, p. 891-907

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۴۰۰، ص. ۹۰۷-۸۹۱

مقاله پژوهشی

تحلیل هواشناختی بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر در جنوب شرق ایران

مازیار محمدی[۱] – مهری اکبری[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

چکیده

هدف از این پژوهش تحلیل هواشناختی الگوهای گردشی بزرگ مقیاس جوی بارش‌های فراگیر و سیل‌آسا در نیمه گرم سال در جنوب شرق ایران است. در ابتدا بر اساس داده‌های بارش شش ایستگاه سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان طی دوره آماری (۲۰۱۸-۱۹۷۹)، برای استخراج روزهای بارشی، شدت بارش با آستانه صدک نودم و فراگیری بارش با رخداد بارش همزمان مساوی یا بیشتر از نیمی از ایستگاه‌ها تعیین شد. فراسنج‌های فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، رطوبت ویژه، چرخندگی نسبی، مؤلفه‌های باد در ترازهای مختلف جو از مرکز پیش بینی‌های میان مدت اروپایی نسخه بازکاوی شده ERA5 دریافت شد. بررسی شرایط ترمودینامیکی این سامانه‌ها نشان داد که در الگوی اول پر ارتفاع تشکیل شده بر روی شبه قاره هند در تراز میانی به صورت یک مانع عمل کرده و مانع حرکت طوفان به طرف شرق شده و منجر به هدایت طوفان به سمت شرق ایران شده است. الگوی دوم به نحوه‌ی توزیع پراکندگی فشار بر روی زمین در این روز مربوط است. الاکلنگ فشاری ناشی از بلاکینگ امگا مناطق جنوب شرقی ایران را تحت تاثیر قرار داده است. الگوی سوم با عمیق شدن تراف میانی اتمسفر و قرارگیری منطقه در زیر محور فرود توام بوده است. منبع رطوبتی الگوی دوم و سوم یک رودخانه اتمسفری بوده که با سوگیری شمال شرقی از استوا به حرکت درآمده و به جنوب شرق ایران رسیده است. در هر سه الگو شار رطوبت از سطح زمین تا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برقرار بوده و مقدار رطوبت به علت چینش و ارتفاع ناهمواری‌ها از جنوب به شمال استان کاهش پیدا کرده است. از آنجا که گرمایش جهانی منجر به افزایش دمای سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها بعنوان منابع تامین رطوبت بارش شده است، انتظار می‌رود بر اساس الگوهای شناسایی شده در این پژوهش، در این پژوهش در دهه‌های آتی شاهد بارش‌های سیل‌آسای بهاره و تابستانه‌ی بیشتری در استان سیستان و بلوچستان خواهیم بود.

واژه‌های کلیدی: بارش سیل‌آسا، بارش فراگیر، سیستان و بلوچستان

مقدمه

بارش به اشکال گوناگون همواره عنصری حیاتی در سرتاسر کره زمین محسوب می‌شود اما در دوره های اخیر تغییر در بارش (مقدار، زمان و توزیع) تغییرات مهمی را به همراه داشته است و تاثیر عمیقی بر جوامع انسانی گذاشته است. گاهی تسریع در عوامل ترمودینامیکی (رطوبت) و دینامیکی (صعود) که موجب رخداد بارش می‌شوند سبب تشدید بارش در مقیاس زمان و مکان و در نتیجه وقوع فرین‌های اقلیمی مرطوبی همچون بارش‌های سیل‌آسا می‌شود که می‌تواند تهدیدی برای زندگی بشر باشد (۲۴ و ۳۵). بارش‌های سیل‌آسا جزء فرین‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌شوند که به صورت ناگهانی و کوتاه مدت رخ می‌دهند و با فرسایش خاک و آلودگی آب همراه هستند. شکی نیست که بارندگی شدید از نظر ایمنی و رفاه انسان، آسیب رساندن به مسکن و زیرساخت‌ها و آسیب‌های محیطی و اکولوژیکی می‌تواند پرهزینه باشد. با توجه به این اثرات اگر الگوهای گردشی به وجود آورنده بارش‌ها شناسایی شوند، می‌توان از حداقل یک یا دو روز قبل با رویت آغاز توالی الگوهای مختوم به ایجاد سیل، وقع سیلاب را پیش‌بینی کرد (۴). به علاوه درک خصوصیات اقلیمی و دینامیکی حاکم بر وقوع این بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر می‌تواند پایه‌ای برای بهبود پیش‌بینی میان مدت و بلند مدت اقلیمی باشد و در مدیریت و کاهش خسارات ناشی از آن ما را یاری کند (۳). در نتیجه در این پژوهش بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر[۳] جنوب شرق ایران

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی
(*- نویسنده مسئول: Email: mehryakbary@khu.ac.ir)
DOI: 10.22067/JSW.2022.68783.1024

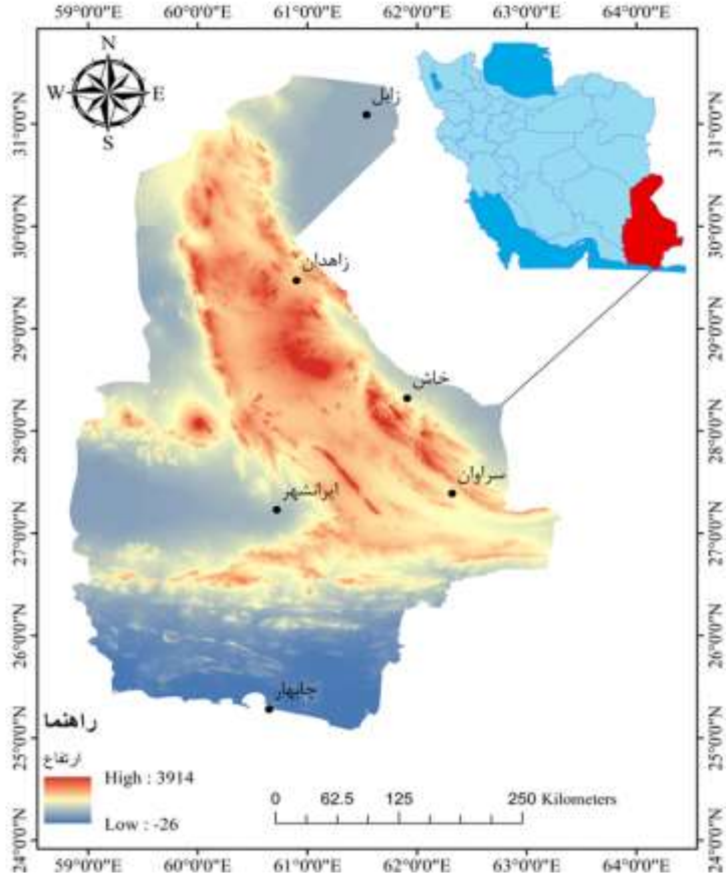
3- Widespread

(سیستان و بلوچستان) در نیمه‌ی گرم سال (بهار و تابستان) مورد مطالعه قرار گرفته است. دوستکامیان و میرموسوی (۱۲) منطقه جنوب شرق ایران را یک منطقه با آستانه بارش شدید بسیار کم و ضریب تغییرپذیری بسیار زیاد است و میانگین آستانه بارشی در این نواحی را ۲٫۸ میلی‌متر دانسته‌اند که وجود بارش‌های کوتاه مدت، رگباری و سیل آسا از مهمترین ویژگی‌های آن است. با توجه به اینکه بارش‌های سنگین از ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه خشک هستند (۳۳ و ۴۰) پس می‌توان نتیجه گرفت که در صورت وجود رطوبت کافی و عامل صعود مناسب شاهد وقوع بارش‌های سیل‌آسای در جنوب شرق ایران خواهیم بود. در عصر حاضر به دلیل تغییر اقلیم وقوع بارش‌های سیل‌آسا افزایش پیدا کرده است **(**۳۸، ۳۹ و ۴۲**)**. ایران نیز از اثرات تغییر اقلیم در امان نبوده، به طوری که سرعت روند افزایش گرمایش ایران بیش از میانگین نیمکره شمالی است (۱۹) از این رو بسامد رخداد بارش‌های فرین در ایران رو به افزایش است (۱ و ۲۵). چشم‌انداز تغییر اقلیم کشور تا انتهای قرن ۲۱ میلادی که با استفاده از سناریوهای گزارش پنجم هیات بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC،AR_5) در سازمان هواشناسی کشور شبیه‌سازی شده است (۱۸) حاکی از آن است که از معدود مناطق کشور که احتمال افزایش بارش در آن وجود دارد، جنوب شرق ایران است به طوری‌که رفتار بارش در این منطقه به صورت ناگهانی و سیل‌آسا خواهد بود (۱۳، ۱۴ و ۴۱).

لذا شناخت و مطالعه این پدیده، شناسایی الگوهای سینوپتیک، سازوکار وقوع و پراکنش زمانی و مکانی آنها در پیش‌بینی و مقابله با خطرات احتمالی آن موثر خواهد بود (۹). در ارتباط با بررسی اثرات گردش جوی بر وقوع بارش‌های فراگیر و سیل‌آسا و طبقه‌بندی الگوهای همدید متناظر با آنها، مطالعات گسترده‌ای در سطح دنیا و ایران انجام شده که تعدادی از آنها در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی بارش‌های سنگین ماه نوامبر ۲۰۱۵ در شهر چنای یا مدرس[1] هندوستان نشان داد که سیستم‌های همرفتی غرب اقیانوس آرام توسط انرژی حرارتی اقیانوس هند تشدید و توسعه یافته و گسترش آن‌ها به سوی شبه قاره‌ی هند توسط الگوی پر ارتفاع سطوح میانی اتمسفر، تقویت می‌شود (۱۰). بررسی الگوهای سینوپتیک و منابع رطوبتی بارش‌های سنگین در نپال، نقش ناهمواری‌های هیمالیا در ارتباط با الگوهای اتمسفری در رخداد بارش‌های سنگین در این منطقه را حائز اهمیت می‌داند (۳۱). پژوهش‌های انجام شده در خصوص تحلیل سینوپتیکی و شناسایی الگوهای ایجاد کننده بارش‌های سیل‌آسا در ایران نشان داد که برخی از آنها از عوامل اصلی ایجاد کننده بارش‌های سیل‌آسا را حالت ادغام شده و تفکیکی، کم فشار مدیترانه‌ای و کم فشار سودانی دانسته‌اند (۲، ۳، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۶ و ۲۲). سلیقه (۳۶) و عربی (۶) در تحلیل بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران ناشی از مونسون هند به این نتیجه رسیدند که ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی و رویاروی آن با هوای گرم و مرطوب مونسون هند از عوامل اصلی ایجاد بارش بوده است. سلیقه (۳۷) سازوکار بارش‌های جنوب شرق ایران را مورد بررسی قرار داد و سیستم‌های ایجاد کننده بارش در این منطقه را در سه دسته تقسیم نمود. اولین سیستم سیکلون‌های هستند که به همراه بادهای غربی منطقهٔ معتدله از سمت غرب به منطقه نفوذ می‌کنند و در فصل سرد سال و به صورت مداوم حدود ۶۰ درصد از بارش‌های آن را به وجود می‌آورند. دومین سیستم توسط موج کوتاه بادهای غربی هنگامی که تراف آن‌ها عمیق تر شده به وجود آمده که حدود ۳۰ درصد از بارش‌های منطقه را به وجود می‌آورند. سومین سیستم زبانه‌ی کم فشار مونسون هندوستان است که کمتر از ۱۰ درصد از بارش‌ها را ایجاد می‌کند. سیستم‌های دوم و سوم اغلب رگباری بوده و کمتر احتمال ریزش‌های جوی مطلوب از آن‌ها انتظار می‌رود. فرج‌زاده و همکاران (۱۴) نقش سامانه‌های موسمی را در بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که در این منطقه، علاوه بر عامل صعود و هوای مرطوب که باعث وقوع بارش می‌شوند، پیچیدگی و موقعیت توپوگرافی منطقه می‌تواند باعث افزایش و کاهش بارش گردد. پدیده‌های بندالی موثر بر آب و هوای ایران در میان پارامترهای جوی بیشترین تاثیر را بر بارش داشته و رخداد بلاکینگ در برخی موارد می‌تواند به واسطه‌ی شدت و تداوم در یک منطقه موجب ایجاد سیل و خسارت شود. بررسی بارش‌های فرین استان بوشهر را نشان داد که وقوع بارش‌های شدید در استان بوشهر، نتیجه‌ی استقرار یک سامانه‌ی بندالی از نوع رکس یا امگا در ترازهای میانی جو و سامانه سودانی کم فشار سطح زمین در جنوب غرب ایران است (۳۴). بررسی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ‌های موثر بر رخداد بارش‌های مداوم (۵ روز و بیشتر) و سنگین در ایران نشان داده که الگوی بلاکینگ امگا در پهنه‌ی ایران از فراوانی و تداوم بارش بیشتری برخوردار است (۱۱ و ۲۹).

اطلاق صفت سیل‌آسا به بارش تا حد زیادی تابع مکان و قلمروی جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه‌ی دریافت بارش است (۵). بنابراین با توجه به وضعیت پوشش گیاهی و اقلیم خشک استان سیستان و بلوچستان، پایین بودن متوسط بارش سالانه، پتانسیل بالای این استان در نزول بارش‌های سنگین و سیل‌آسا که از مشخصه‌های بارز اقلیمی جنوب شرقی ایران است (۲۱ و ۳۶) و پیش‌بینی افزایش رخداد بارش‌های سیل آسا برای دهه‌های آینده در این منطقه ناشی از اثرات تغییر اقلیم (AR5)، بدیهی است که یکی از راهکارهای پیشگیری از وقوع مخاطرات طبیعی همچون سیل، درس گرفتن و آگاهی از رخداد بارش‌های سیل آسای گذشته است.

1- Chennai or Madras



شکل ۱- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح منطقه

Location of the studied area and distribution of synoptic stations-Figure 1

بر همین اساس هدف از پژوهش حاضر شناسایی و تحلیل هواشناختی الگوهای گردشی بزرگ مقیاس جوی ایجاد کننده‌ی بارش‌های فراگیر و سیل‌آسا در نیمه گرم سال (بهار و تابستان) در جنوب شرق ایران (استان سیستان و بلوچستان) است.

منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق ایران، با وسعتی برابر ۱۸۱۷۵۸ کیلومتر مربع نزدیک به ۱۱ درصد از کل مساحت کشور را در بر می‌گیرد. منطقه مورد مطالعه در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و از ۵۸ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است (نگاره ۱). این استان از نظر بارش جز خشک‌ترین و کم باران‌ترین استان‌های کشور است و میانگین بارش سالانه آن ۱۱۰ میلی‌متر است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای مشخص کردن روزهای با بارش سنگین و فراگیر، آمار بارش روزانه ۶ ایستگاه سینوپتیک در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۸۸ در گستره‌ی استان سیستان و بلوچستان از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پراکنش ایستگاه‌ها به گونه‌ای است که کل منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند (نگاره ۱). با توجه به اینکه بارش‌های کمتر از ۱ میلی‌متر ممکن است توسط عوامل محلی نیز رخ داده باشند که در مقیاس سینوپتیک قابل تشخیص نیستند؛ لذا همچون پژوهش‌های گذشته (۵، ۱۷، ۲۳، ۳۰ و ۳۲)، آستانه روز بارش ۱ میلی‌متر و بیش از آن انتخاب و روزهایی که بارش ۲۴ ساعته آن‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر بود به عنوان روز بدون بارش مشخص و حذف شد. در ادامه بر اساس پژوهش‌های انجام شده در زمینه توزیع بارش، چون استفاده از شاخص صدک‌ها[1] نسبت به شاخص‌های آستانه‌ای

1- Percentiles

ارجح است (۷، ۲۶ و ۲۸) بنابراین در این پژوهش نیز از صدک ۹۰ام برای مشخص نمودن بارش سیل‌آسای هر ایستگاه به تفکیک استفاده شد. برای شاخص فراگیری بارش نیز، از بارش‌هایی که همزمان حداقل در ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها گزارش شده بود استفاده شد. با توجه به دو ویژگی سیل‌آسا و فراگیر بودن بارش، طی ۳۰ سال روزهای مورد نظر در دوره‌ی آماری منتخب ۲۰۱۸-۱۹۸۸ مشخص و استخراج شدند. در گام بعدی برای شناسایی الگوهای سینوپتیکی جو بالای این سامانه‌های سیل آسا از داده‌های بازکاوی شده ERA5 مرکز پیش‌بینی میان مدت اروپایی[1] ECMWF با قدرت تفکیک مکانی $0.25° \times 0.25°$ استفاده شد. پارامترهای جوی دریافتی شامل فشار تراز دریا (mslp)، ارتفاع ژئوپتانسیل (z)، رطوبت ویژه (q)، مؤلفه باد مداری (V)، مؤلفه باد نصف‌النهاری (U)، تاوایی نسبی (rv) و امگا (w) بودند. سپس نقشه‌های جو بالا در ترازهای مختلف با استفاده از نرم افزار گردس[2] ترسیم شد. به منظور شناسایی روند تغییرات فشار تراز دریا (mslp) و ارتفاع ژئوپتانسیل (500 hpa)، از دو روز قبل از شروع بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر مورد مطالعه قرار گرفتند. برای انتخاب شبکه‌ی مناسب برای نمایش الگوهای گردشی، به استناد به مطالعات پیشین، در ابتدا شبکه‌ای به طول ۰ تا ۹۰ درجه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۰ تا ۷۰ درجه‌ی شمالی انتخاب شد اما در ارائه الگوی دوم در این پژوهش که الگوی سلول بسته‌ی بندال امگایی تکوین یافته بر روی غرب ایران است، لازم دیده شده که طول جغرافیایی منتخب به طول ۴۰ درجه شرقی جابجا شود تا شبکه‌ی منتخب برای نمایش کامل الگوهای گردشی موثر بر رخداد بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر جنوب شرق ایران کارآمد و مناسب باشد.

نتایج

با تجزیه و تحلیل داده‌های بارش روزانه در طی بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۸) طی ماه‌های گرم سال تعداد روزهای با بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر در استان سیستان و بلوچستان مشخص شدند و با توجه به شاخص‌های سیل‌آسا و فراگیری که پیش‌تر تعریف شدند، ۳ روز با بارش‌های سیل آسا و فراگیر بدست آمد که اغلب در فصل بهار رخ داده‌اند (جدول ۱). اما خلاصه‌ای از آمار بارش‌های رخ داده در استان سیستان و بلوچستان نشان داد که در ۳۰ سال گذشته شدیدترین و کمترین بارش‌های ۲۴ ساعته به ترتیب با ۹۰٫۳ میلی‌متر در چابهار و ۱۴٫۵ میلی‌متر در زاهدان رخ داده است. همچنین بیشترین تعداد روزهای بارشی در خاش ۱۱۷ روز و کمترین تعداد روزهای بارشی در چابهار ۳۲ روز بوده است (جدول ۱). در میان این آمار با توجه به شروط تعریف شده برای انتخاب بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر در نهایت ۳ سیستم سینوپتیکی بزرگ مقیاس و متفاوت که باعث رخداد بارش‌های سیل‌آسا در مقیاس وسیعی گشتند شناسایی شدند که مشخصات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

الگوی اول: طوفان سوپر سیکلونی گونو[3]

گونو قوی‌ترین چرخند حاره‌ای است که در شرق دریای عرب تشکیل و گسترده شده است (۱۵ و ۲۷). در روز پنجم ژوئن به علت تابش شدید خورشید کشورهای حاشیه خلیج فارس و جنوب ایران تا سوریه تحت استیلای کم فشار حرارتی سطح زمین با فشار ۱۰۰۵ هکتوپاسکل بوده و چرخند حاره‌ای گونو با حرکت غرب سوی خود با منحنی بسته ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر در شرق دریای عرب به خشکی‌های عمان رسیده است. از آنجا که چرخند گونو حرکت غرب‌سو داشته، در نتیجه انتظار می‌رود تحت تاثیر نیروی کوریولیس در روزهای بعدی به سوی شمال پیشروی کند. نفوذ چرخند به داخل خشکی‌های کشور عمان و دور شدن از منابع رطوبتی باعث شده که در این روز از انرژی جنبشی چرخند کاسته شده و تضعیف شود. در ادامه چرخند مسیر شمال و شمال غرب را در پیش گرفته و حاشیه شمالی چرخند به سواحل چابهار رسیده است. در سطوح میانی اتمسفر نیز یک پر ارتفاع بر روی شبه قاره هند در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در حال تکوین است. در همین زمان زبانه‌ای از پرفشار تشکیل شده بر روی جزایر اسکاندیناوی با فشار مرکزی ۱۰۲۵ تا ۱۰۳۰ هکتوپاسکال در حال تزریق هوای سرد عرض‌های شمالی از طریق ناوه‌ی تشکیل شده در شمال دریای خزر به مناطق شمال غرب و شمال شرق ایران است. قرار گرفتن مرکز کم ارتفاع سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی مرکز کم‌فشار سطح زمین در غرب دریای مدیترانه نشان دهنده تشکیل یک چرخند دینامیکی در این منطقه بوده که با حرکت مداری خود تا نیمه جنوبی کشور پیشروی کرده است (a-۱).

در ادامه و در روز ششم ژوئن، بررسی نقشه‌ها (b-۱) نشان می‌دهد که در این روز چرخند گونو توسط نیروی کوریولیس به عرض‌های شمالی‌تر منتقل شده و بخش‌هایی از کشور عمان و مناطق ساحلی جنوب شرق ایران را در برگرفته است. علی‌رغم استقرار سمت غربی چرخند بر روی خشکی‌های عمان، در این روز قرار گرفتن کم ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی مناطق کم فشار سطح زمین باعث تشدید واگرایی سطح بالا شده همچنین قرار گیری قسمت شرقی طوفان بر روی دریای عمان منجر به تقویت طوفان شده و گونو را از یک چرخند حاره‌ای به یک طوفان حاره‌ای تبدیل کرده است.

1- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
2- Grads
3- Gonu Super Cyclonic Storm

جدول ۱- تعداد روزهای بارشی و شدیدترین بارش روزانه در سیستان و بلوچستان
Table 1- Number of rainy days and the Maximum daily precipitation in Sistan and Baluchestan

ایستگاه Station	حداکثر بارش روزانه Maximum Daily Precipitation	فراوانی روزهای با بارش روزانه بیش از یک میلی‌متر Number of Rainy Days with more than 1 mm rain
زابل (Zabol)	20	66
زاهدان (Zahedan)	14.5	102
ایرانشهر (Iranshar)	31	116
خاش (Khash)	27	117
سراوان (Saravan)	14.6	100
چابهار (Chahbahar)	90.5	32

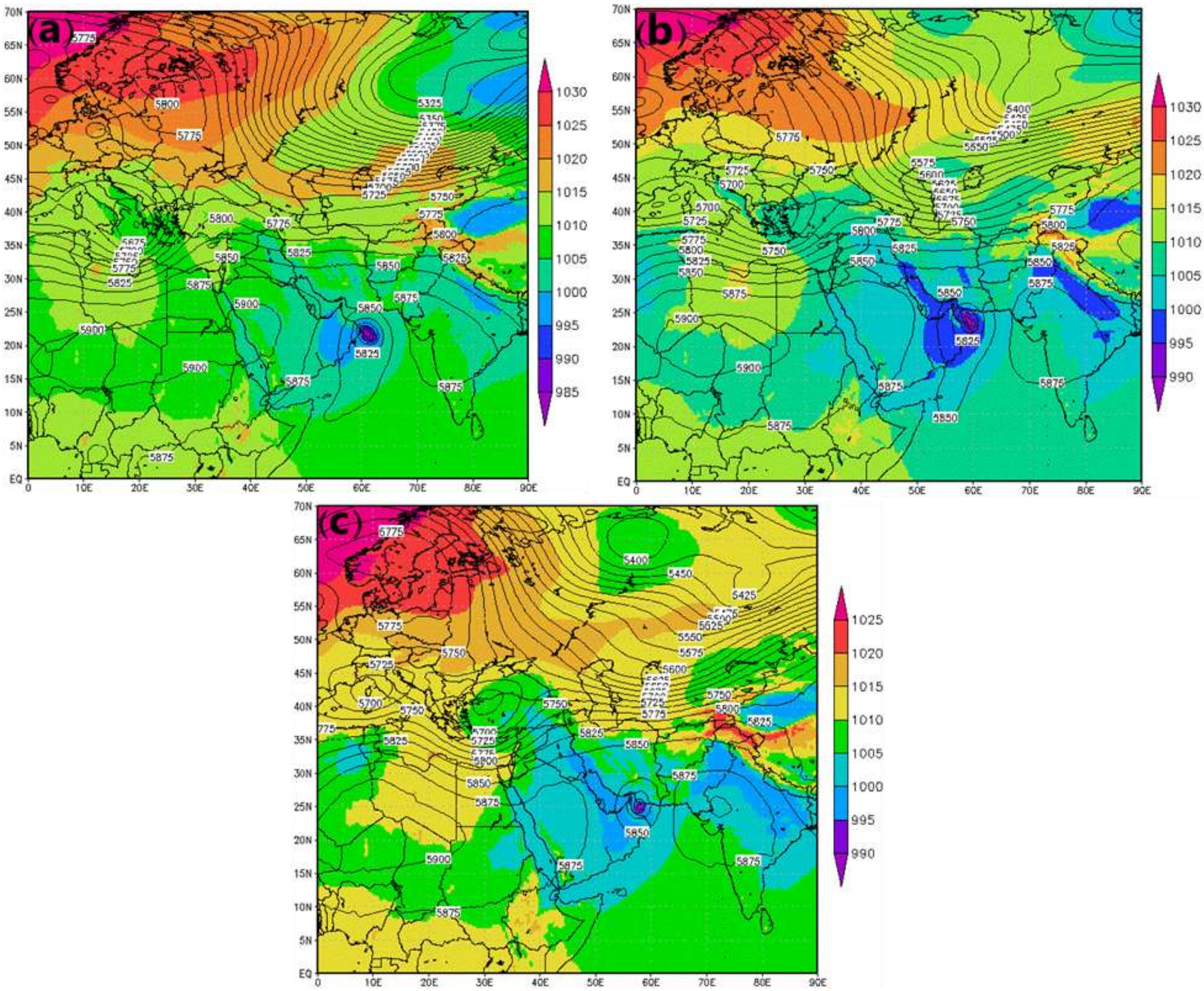
جدول ۲- آستانه‌های بارشی صدک ۹۰ام در ایستگاه‌های سیستان و بلوچستان
Table 2- Precipitation thresholds of the 90th percentile in Sistan and Baluchestan stations

تاریخ (Date)	زابل (Zabol)	زاهدان (Zahedan)	ایرانشهر (Iranshar)	خاش (Khash)	سراوان (Saravan)	چابهار (Chahbahar)
صدک ۹۰ام ایستگاه به میلیمتر (90th percentile in mm)	6.5	8	8.3	7.4	8	13.4
2007/6/7	0	1.3	23	10.5	14.3	90.3
2009/3/31	3	14.5	22	16	13.8	0.7
2014/3/27	0	0.7	12	7.3	14.6	21

به نظر می‌رسد پر ارتفاعی که در روز قبل در شرق چرخند تشکیل شده بود در تغییر مسیر چرخند و هدایت آن بـه سـوی جنـوب شـرق ایران موثر بوده و در واقع به صورت یک مانع عمل کرده است. فشـار مرکزی طوفان نسبت به روز قبل ۵ هکتوپاسکال کاهش یافتـه و بـه ۱۰۰۰ هکتوپاسکال رسیده است.

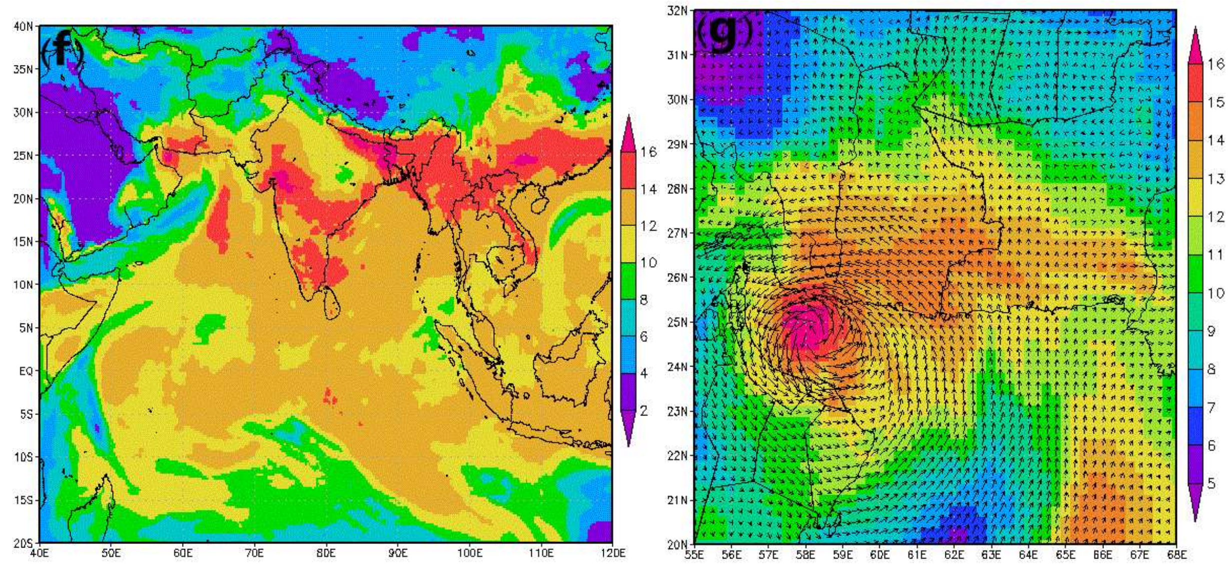
همچنین پرفشار شمال اروپا مقداری ضعیف شده و عقـب نشـینی کرده اما در شمال ایران، ناوه شمال دریای خزر عمیـق تـر شـده و بـا حرکت چرخندی خود هوای سرد را به داخل ایران تزریـق کـرده کـه منجر به ایجاد گرادیان حرارتی شدیدی در این منطقه شده که نقـش شایانی در تقویت طوفان گونو داشـته اسـت. امـا در روز هفـتم ژوئـن طوفان با جهت‌گیری جنوب شرقی – شمال غربی از جنوب وارد ایران شده است و شاهد افت شدید فشار در مناطق نزدیک به چشم طوفـان بوده‌ایم که نشان از حرکـت چرخنـدی جریـان هـوا در سـطح زمـین مـی‌باشـد در ایـن حالـت قسـمت شـمالی هسـته طوفـان بـر روی خشکی‌های ایران، قسمت مرکزی آن بر روی دریای عمان و قسـمت جنوبی آن بر روی خشکی‌های کشور عمان قرار دارد هر چنـد کـه در این روز بیشترین بارش‌های ۲۴ سـاعته در ایسـتگاه‌هـای سیسـتان و بلوچستان به ثبت رسیده است اما انرژی جنبشی طوفان به دلیل نبـود هوای گرم و مرطوب در این روز با ورود به خشـکی کـاهش یافتـه و طوفان در حال ضعیف شدن است پر ارتفاعی که بـر روی شـبه قـاره هند تکوین یافته بود در این روز تقویت شده و تا مرکز دریـای عـرب رسیده است و مانع حرکت طوفان به سمت شرق شـده اسـت کـه در تغییر مسیر طوفان کاملا تاثیرگذار بوده است (c-1). در این روز زبانـه پرفشار تشکیل شده بر روی شمال اروپا که تا شـمال ایـران پیشـروی کرده بود عقب‌نشینی کرده است و کم ارتفـاعی کـه در غـرب دریـای مدیترانه تشکیل شده بود به خشکی‌های شمال غـرب ترکیـه منتقـل شده به علت این جابجایی ناوه شمال دریای خزر حرکت مـداری را در پیش گرفته و انتقال هوای سرد عرض‌های شمال ضعیف تر شده و به

این علت گردایان حرارتی ایجاد شده در این منطقه از بین می‌رود اما انتقال هوای سرد با شدت کمتری به پشت طوفان همچنان ادامه دارد (c-1). بیشترین بارش ۲۴ ساعته طی طوفان گونو در این روز باریده است به طوری که شهرهای چابهار با ۹۰,۵ و نیکشهر با ۲۳ میلی‌متر بیشترین بارش را در این روز داشته‌اند چون به هسته‌ای اصلی طوفان نزدیک تر بوده‌اند در نتیجه بارش بیشتری دریافت کرده‌اند زیرا هسته اصلی طوفان منطبق بر محل بیشینه شدت صعود (امگا) مناسب در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بوده است شدت صعود هوا در اطراف چشم طوفان به بیش از ۳,۵ پاسکال بر ثانیه رسیده است اما در مناطقی همچون شمال زاهدان و زابل عامل صعود برقرار نبوده است (d-1) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز تقریبا در اکثر نقاط چرخندگی مثبت بود است که نشان از واگرایی سطوح فوقانی اتمسفر بر روی استان سیستان و بلوچستان می‌باشد (f–1).



شکل ۲- (a، b، c) فشار تراز دریا (hpa) و ارتفاع ژئوپتانسیل ($m^2 s^{-2}$) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب برای ۵، ۶ و ۷ ژوئن. (d) و (e) به ترتیب تاوایی نسبی (s^{-1} ۱۰^-۵^) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت قائم جو (s^{-1} ۱۰^-۲^) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به همراه ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ۷ ژوئن

Figure 2- (c, b, a) Sea level pressure (hpa) and geopotential height (m2) of 500 hPa for June 5, 6 and 7, respectively. (a) and (b) the relative vorticity ($s^{-1*10-5}$) of 500 hPa and the vertical velocity ($s^{-1*10-2}$) of 700 hPa with geopotential height at 500 hPa on .June 7, respectively



شکل ۳- (f) رطوبت ویژه (gr/kg^{-1}) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در مقیاس وسیع و (g) وزش رطوبتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در روز ۷ ژوئن

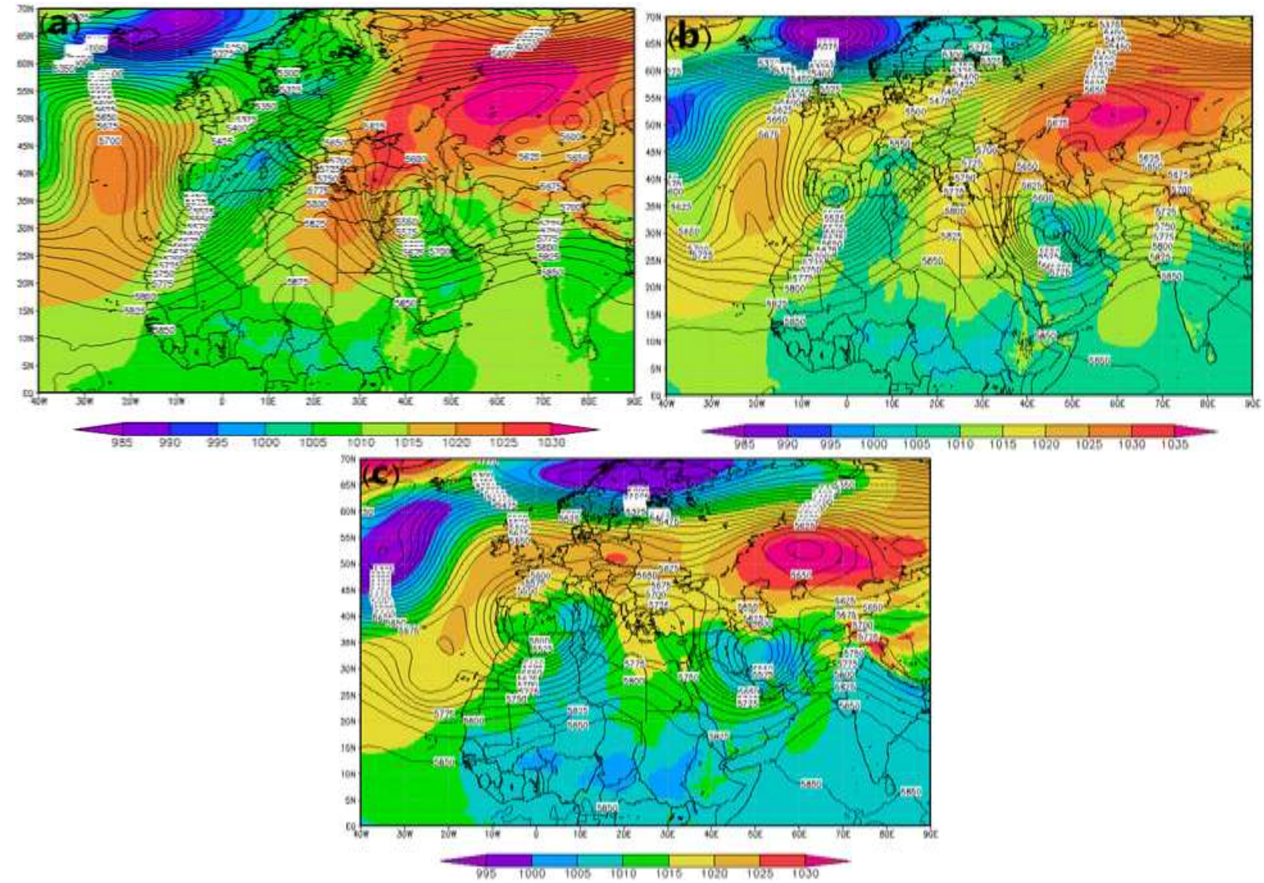
.Figure 3- (f) Specific humidity ($gr*kg^{-1}$) at 850 hPa on a large scale and (g) humidity advection at 850 hPa on 7 June

طوفان با حرکات چرخندی خود باعث انتقال حجم عظیمی از رطوبت دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند به مناطق جنوب شرقی ایران شده است که سهم دریای عمان در این روز بیشتر و اقیانوس هند بسیار اندک بوده است (f-1) بیشینه رطوبت در مرکز طوفان بیش از ۱۶ گرم بر کیلوگرم بوده است و به تدریج با فاصله گرفتن از چشم طوفان مقدار رطوبت از جنوب استان با مقدار ۱۵ گرم بر کیلوگرم به مقدار ۹ گرم بر کیلوگرم در شمال کاهش یافته به همین دلیل شدت بارش‌ها در مناطق جنوبی استان بیشتر بوده است. شار رطوبتی از سطح زمین تا ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ برقرار بوده است اما بیشترین انتقال رطوبت در تراز ۸۵۰ رخ داده است (g–1). در این روز در قسمت‌های شمالی استان ارتفاعات مرکزی استان مانع انتقال رطوبت و شرایط ناپایدار حاصل از طوفان به این مناطق شده است در نتیجه هیچ بارشی دریافت نکرده‌اند. ارتفاع امواج در این روز در مناطق ساحلی سیستان و بلوچستان و هرمزگان بین۴ تا ۵،۵ متر بوده است و در مجموع این طوفان حاره‌ای در ایران موجب مرگ ۲۱ نفر و ۲۱۵ میلیون دلار خسارات شد (۲۷).

الگوی دوم: بلاکینگ امگا[1]

دو روز قبل از بارش شدید فراگیر، ساختار الگوی بلاکینگ امگا در ۲۹ مارس ۲۰۰۹ بر روی نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی خودنمایی می‌کند. علت تکوین این الگوی اقلیمی را می‌توان به نحوه توزیع پراکندگی فشار بر روی زمین در این روز نسبت داد. در روز سی مارس، مرکز پرفشار دینامیکی آزور بیش از حد نرمال تقویت شده و فشار مرکزی آن به ۱۰۲۵ هکتوپاسکال رسیده که در این حالت در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۵۰ درجه‌ی شمالی به صورت مانع عمل کرده و موجب شکست در بادهای غربی و متعاقباً دوشاخه شدن بادهای غربی شده است. این عمل باعث ایجاد یک پشته پر ارتفاع و حرکت نصف‌النهاری شدید در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده است. در شمال این پرفشار کم فشار ایسلند به شدت تقویت شده و به سوی شرق پیشروی کرده است. در مقابل به علت افت فشار بر روی کشورهای اسپانیا و پرتغال، هسته‌ی کم ارتفاع اولیه بلاکینگ امگا با ناوه‌ی نسبتاً عمیقی ایجاد شده است و در همین هنگام پرفشار سیبری تقویت شده و زبانه‌ای از آن بر روی شرق و مرکز دریای مدیترانه تا شاخ آفریقا غلبه دارد و باعث ایجاد یک پشته عظیم بر روی مدیترانه شده است که محور شمالی آن تا دریای سیاه رسیده است. هسته‌ی کم فشار جنوب شرقی سیستم بلاکینگ امگا با منحنی بسته ۵۵۵۰ ژئوپتانسیل متر در غرب ایران قرار گرفته و عمق ناوه تا دریای سرخ پیشروی کرده است. فرارفت هوای سرد به داخل پشته روی مدیترانه، توسط پرفشار سیبری و انتقال این هوای سرد و ناپایدار توسط ناوه به جنوب شرق ایران در حال انجام است (a-2). در روز ۳۰ مارس هسته اصلی پرفشار آزور تضعیف شده و در حال جابجایی به عرض‌های شمالی تر بوده و از آنجا که پیدایش این سیستم پرفشار، دینامیکی است؛ لذا جابجایی هسته‌ی مرکزی آن دور از انتظار نخواهد بود. هسته اصلی کم فشار ایسلند نیز پیشروی شرق سو داشته و به جزایر اسکاندیناوی رسیده است. اما وجود پرفشار آزور مانع از حرکت این کم فشار به عرض‌های پایین شده است.

1- Omega Blocking

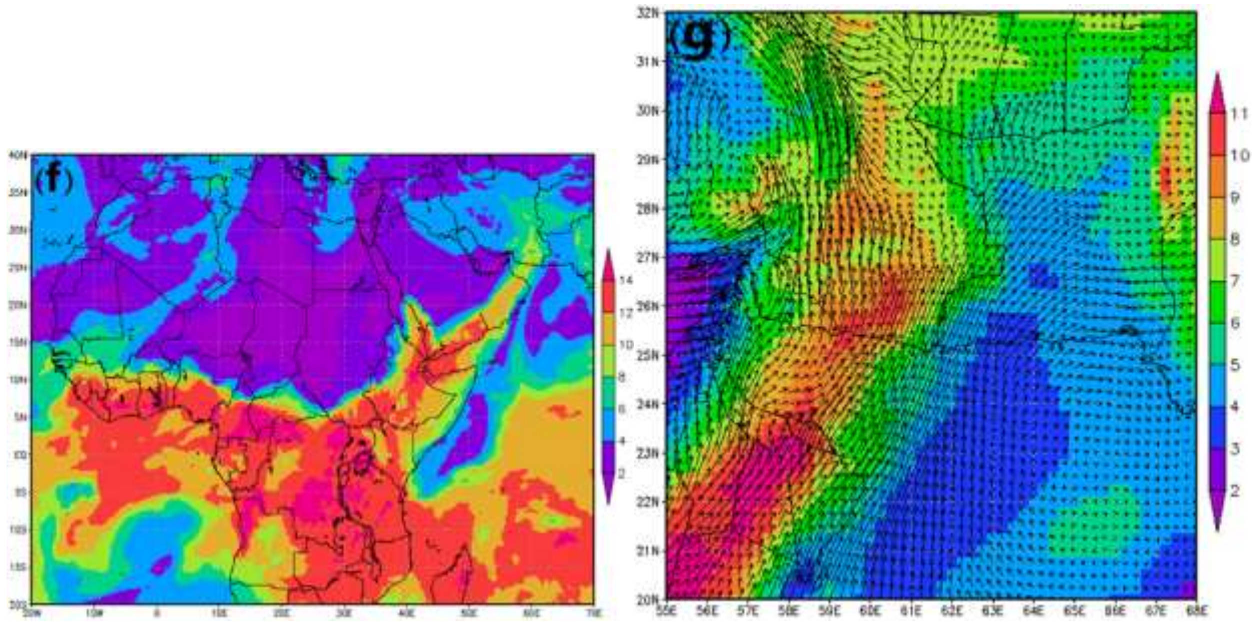


شکل ۴- (a،b ،c) فشار تراز دریا (hpa) و ارتفاع ژئوپتانسیل (m2 s-2) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

به ترتیب برای ۲۹، ۳۰ و ۳۱ مارس. (d) و (e) به ترتیب تاوای نسبی (s^{-1} ۱۰$^{-5}$) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت قائم جو (s^{-1} ۱۰$^{-2}$) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به همراه ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در۳۱ مارس

Figure 4- (a, b, c) Sea level pressure (hpa) and geopotential height (m) level of 500 hPa for March 29, 30 and 31, respectively. (d) and (e) the relative vorticity (s^{-1} 10^{-5}) of 500 hPa and the vertical velocity ($s^{-1}10^{-2}$) of 700 hPa with geopotential height of 500 hPa on March 31, respectively.

هسته کم فشار جنوب غرب بندال با مقداری جابجایی بـه سـمت جنوب بر روی تنگه جبل‌الطارق قرار گرفته در مقابل پرفشـار آزور بـه علت انتقال هوای گرم ناوه جنوب غرب بندال به عرض‌هـای شـمالی پرفشار سیبری در حال تضعیف است؛ اما همچنان زبانه آن کل دریای مدیترانه تا شمال افریقا را تحت سلطه خود قرار داده است. کـم فشـار جنوب شرق بندال به شمال غرب خلیج فارس منتقل شـده و فرارفـت هوای سرد سـیبری از طریـق پشـته مدیترانـه‌ای در حـال انتقـال بـه عرض‌های جنوبی‌تر و به دنبال آن ایجـاد ناپایـداری در عـرض‌هـای میانی و بارش در جنوب شرق ایران خواهـد شـد (b-2). در نهایـت در روز ۳۱ مارس تغییرات عمده‌ای در سیستم‌های فشار رخ داده و پرفشار سیبری مسیر شرق را در پیش گرفته و زبانه‌هـای آن نیـز ضـعیف تـر شده‌اند. پرفشار آزور به سمت شرق حرکت کرده و با پرفشـار سـیبری ادغام شده است و کم فشار ایسلند نیز از شرق به غرب گسترش یافته است به طوری‌که زبانه آن در شمال پرفشار سیبری قرار گرفته اسـت. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال کم ارتفاع جنوب شـرقی بلاکینـگ در ایـن روز شدت بیشتری گرفته و هسته مرکـزی آن بـرروی جنـوب غـرب ایران تا نواحی مرکزی قرار گرفته است و درسطح زمین شاهد تشکیل یک مرکز کم فشار می‌باشیم که در مرکز ایران قرار گرفته و فشار آن بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۵ هکتوپاسکال می‌باشد زبانه‌هـای ایـن مرکـز کـم فشار به جز نوار شمالی کشور تقریبا کل ایران را فرا گرفته این نشـان از وجود شرایط مناسب حرکات چرخندی در سطح زمین مـی‌باشـد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال منحنی‌های هم ارتفاع با جهت‌گیری جنوب به شمال در حال گذر هستند در این حالت استان سیستان و بلوچستان در زیر محور ناوه (محل بیشینه تاوایی نسـبی) قـرار گرفتـه چرخنـدگی مثبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حکایت از واگرایی مناسب در این روز دارد.



شکل ۵- (f) رطوبت ویژه ($gr.kg^{-1}$) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در مقیاس وسیع و (g) وزش رطوبتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ۳۱ مارس
Figure 5- (f) Specific humidity (gr/kg-1) at 850 hPa on a large scale and (g) humidity advection at 850 hPa on 31 March

در این شرایط فاصله خطوط هم ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نسبت به روز های قبل کاهش یافته که نشان از افزایش گرادیان فشاری مناسب برای رخداد بارش می‌باشد (2-c). در سطح ۷۰۰ هکتوپاسکال شاهد حرکات بالاسوی[1] شدید در زیر محل بیشینه چرخندگی مثبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده ایم (2-e) بیشینه حرکات بالاسوی جوی در جنوب شرق ایران بین ۱- تا ۲- پاسکال بر ثانیه رسیده است (2-d). در این روز در کل ایستگاه‌های سیستان و بلوچستان بارش گزارش شده و ایستگاه‌های نیکشهر با ۶۲،۰۱ و ایرانشهر با ۲۲ میلی‌متر بیشترین بارش را دریافت کرده‌اند در مجموع به علت سکون و حرکت کند این سامانه شاهد "فراگیرترین بارش ۲۴ ساعته" نسبت به دو الگوی دیگر بوده‌ایم.

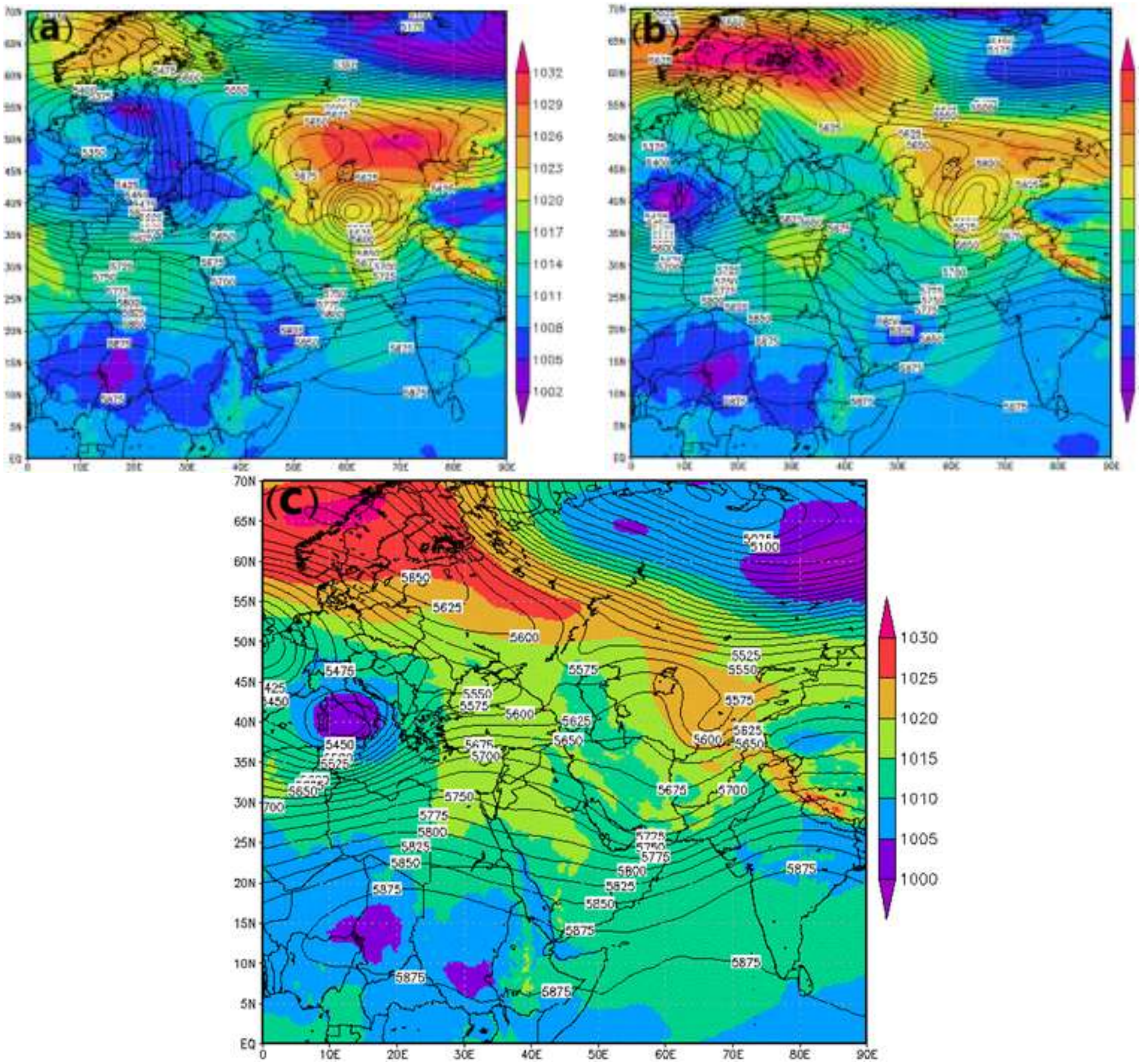
سرچشمه رطوبت بارش‌ها در این روز یک رودخانه‌ی اتمسفری بوده این جریان عظیم رطوبتی که از استوا با جهت‌گیری شمال شرقی به حرکت درآمده است در بخش جنوبی دریای سرخ تقویت شده و از جنوب شبه جزیره عربستان وارد دریای عمان شده است (2-f) در این منطقه فعال بودن واچرخند جنوب شرقی دریای عرب اساسی‌ترین عامل در همگرایی و تقویت این جریان رطوبت از طریق انتقال رطوبت دریای عمان و دریای عرب و هدایت آن به جنوب شرق ایران بوده است این انتقال رطوبت در سطح زمین و ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برقرار بوده است اما در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال شدت بیشتری داشته است (2-g) و اثر اوروگرافیک ناهمواری‌های استان از جمله کوه‌های سیستان، بلوچستان، سیاه کوه در شمال زاهدان، بم و از همه مهمتر تفتان را در وقوع بارش نشان می‌دهد؛ به طوری‌که در این روز در مناطق مرکزی و مرتفع سیستان و بلوچستان بارش‌های شدیدی رخ داده در حالی‌که در نقاط پست و هموار همچون چابهار و زابل کمترین بارش ثبت شده است.

الگوی سوم: فرود تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

تشدید جریان‌های نصف‌النهاری بادهای غربی توسط پرفشار سیبری، دو روز قبل از بارش در ۲۵ مارس باعث شده که بادهای غربی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در عرض ۳۵ درجه شمالی بر روی مدیترانه مسیر خود را تغییر داده و یک پشته مرتفع تا شمال اروپا کشیده شود. در شمال شرق ایران جریان بادهای غربی از مسیر اصلی خود بریده شده و یک کم فشار بریده شده با هسته سرد و ارتفاع مرکزی ۵۵۰۰ ژئوپتانسیل متر تشکیل شده است که توسط پرفشار سیبری تقویت شده و ناقل هوای سرد بوده است. اما پایین‌تر از عرض ۳۵ درجه شمالی بادها تقریبا به صورت مداری بر نیمه جنوبی ایران غلبه دارند. پرفشار شمال اروپا نیز در حال تقویت و گسترش غرب سو بوده است (3-a). در ۲۶ مارس در جریان بادهای غربی که از عرض‌های ۳۵ درجه شمالی به پایین در حال وزش مداری بوده‌اند به علت افت فشار بر روی جنوب عربستان یک فرود نسبتاً عمیق در تراز

1- Vertical Movements

۵۰۰ هکتوپاسکال شکل گرفته و در این حالت سیستان و بلوچستان در جلو محور فرود قرار گرفته است. همزمان در عرض‌های شمالی پرفشار شمال اروپا بـه شدت تقویت شده و زبانه‌ی آن با پرفشار سیبری ادغام شده اما پرفشار سیبری تضعیف شده و در حال جابجایی به سمت غرب بوده و کم فشار بریده شده نیز در حال جابجایی و تضعیف است (b-3). در روز اوج بارش فرود تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از جنوب خلیج فارس به جنوب شرق ایران منتقل شده است و فراز تشکیل شده بر روی شرق مدیترانه هوای سرد پرفشار شمال اروپا را به جنوب شرق ایران پمپاژ می‌کند. همزمان با عوامل یاد شده عمق فرود نیز افزایش پیدا کرده است. وجود یک بسته هوای سرد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال و قرار گیری آن بر روی مناطق مرکزی استان سبب ایجاد جوی آشفته در مناطق مرکزی بوده و باعث شده شدت صعود هوا در مناطق مرکزی استان به ۱- تا ۰٫۸- پاسکال بر ثانیه برسد (d-3) به نظر می‌رسد وجود این بسته هوای سرد با کم فشار برید شده در شمال شرق ایران مرتبط بوده است. در نهایت عمیق شدن فرود تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال باعث تشدید واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده است.



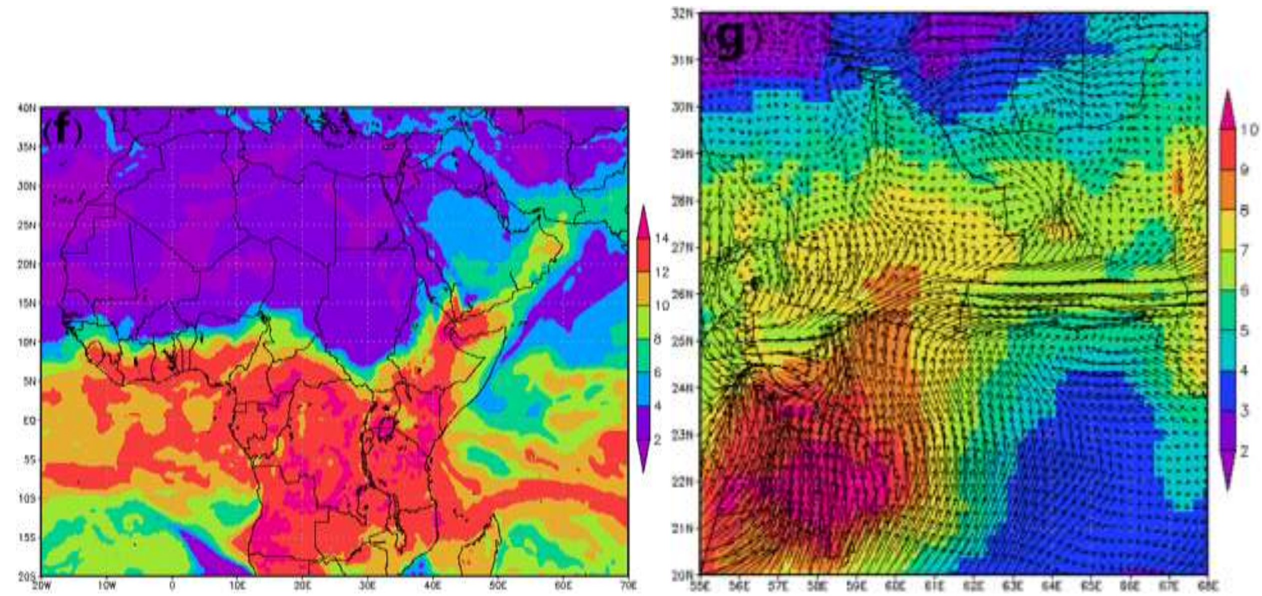
شکل ۶- (a، b، c) فشار تراز دریا (hpa) و ارتفاع ژئوپتانسیل ($m^2 s^{-2}$) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به ترتیب برای ۲۵، ۲۶ و ۲۷ مارس. (a) و (b) به ترتیب تاوایی نسبی (s^{-1} ۱۰⁻⁵) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت قائم جو (s^{-1} ۱۰⁻²) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به همراه ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در۲۷ مارس.

Figure 6- (c, b, a) Sea level pressure (hpa) and geopotential height (m) of 500 hPa for March 25, 26 and 27, respectively. (a) and (b) the relative vorticity ($s^{-1}*10^{-5}$) of 500 hPa and the vertical velocity ($s^{-1}10^{-2}$) of 700 hPa with geopotential height at 500 hPa on March 27, respectively

مقادیر مثبت چرخندگی در این روز این امر را تائید می‌کنند (e-3) در این حالت استان سیستان و بلوچستان در زیر محور فرود قرار گرفته همزمان در عرض‌های شمالی شاهد هم پیوندی پرفشار سیبری و پرفشار شمال اروپا هستیم در نتیجه این عمل پرفشار سیبری به سوی غرب حرکت کرده و کم فشار بریده شده نیز در حال تضعیف شدن بوده است اما در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به صورت یک فرود کم عمق در فرارفت هوای سرد به بخش‌های جنوب شرق ایران عمل کرده است این به معنی تشدید ناپایداری و ایجاد جوی منقلب در این روز می‌باشد (c-3).

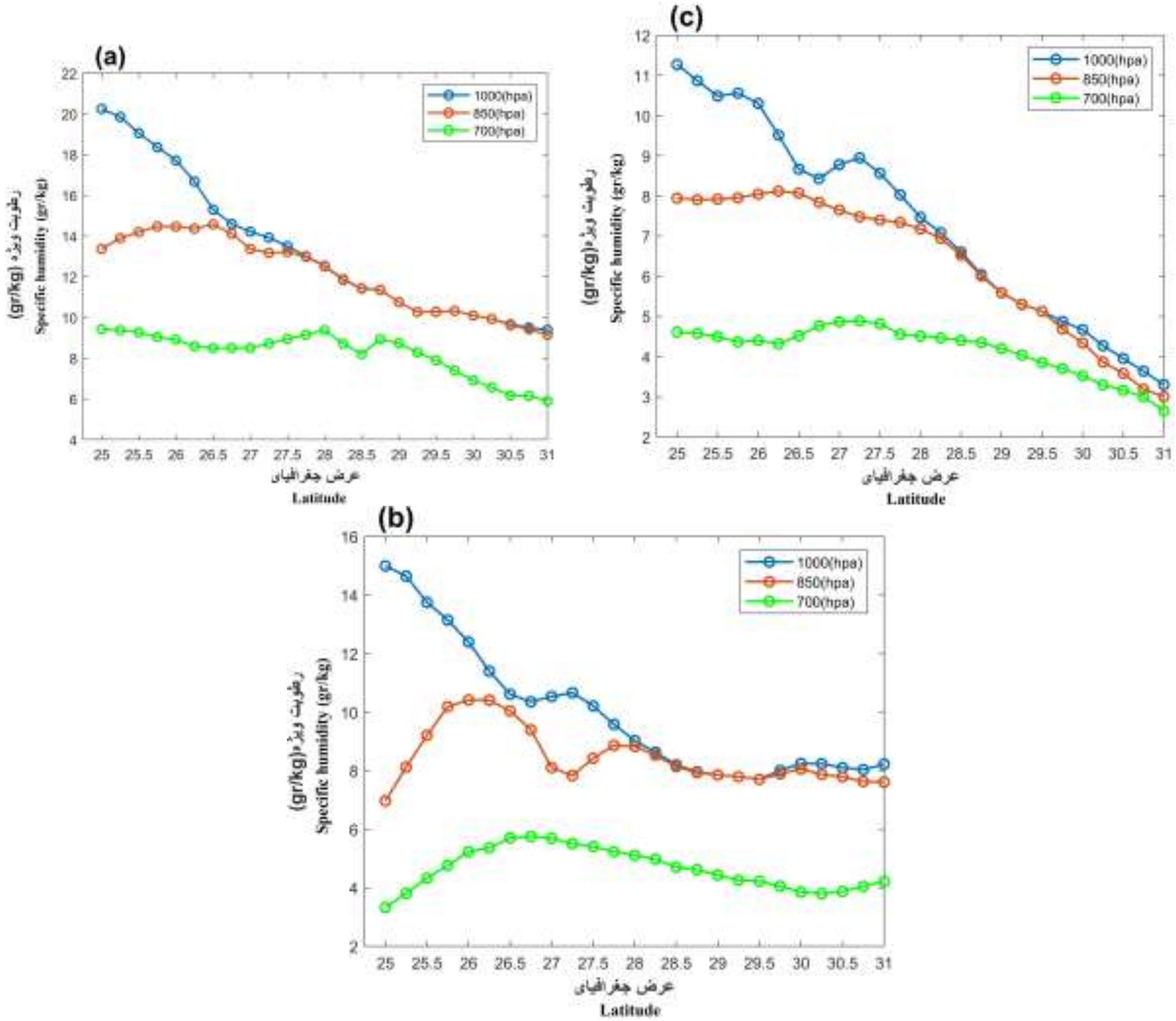
رودخانه اتمسفری که در الگوی دوم تغذیه رطوبتی بارش‌ها را انجام داده بود در این الگو نیز تاثیر عمده‌ای بر تامین رطوبت بارش‌ها داشته است البته با شدتی کمتر (f-3)، جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال حکایت از وجود حرکات چرخندی در غرب استان دارد که از طریق دریای عمان رطوبت بیشتری به این جریان اتمسفری تزریق کرده و در نهایت محرکه‌ای برای انتقال این جریان رطوبت به جنوب شرق ایران بوده است. همچون دو الگوی قبل در این الگو نیز شدت انتقال رطوبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نسبت به سطح زمین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بیشتر بوده است. جهت باد در مناطق شمالی استان شرقی بوده و رطوبت کمتر به ین منطقه رسیده است به همین دلیل ایستگاه‌های زابل (بدن بارش) و زاهدان (۰,۷) کمترین مقادیر بارش را در این روز ثبت کرده‌اند (g-3).

فاصله از منابع رطوبتی و ناهمواری ها در وقوع بارش‌های سنگین و فراگیر نقش قابل توجهی را در این منطقه بازی کرده‌اند. از نقاط مشترک هر سه الگوی بارشی کاهش رطوبت جوی در هر سه تراز سطح زمین ،۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال از جنوب تا شمال استان بوده (a ،b ،c -۸) که عمدتا به دلیل فاصله از منابع رطوبتی و همچنین چینش و ارتفاع ناهمواری استان سیستان و بلوچستان بوده است که باعث گیرش رطوبت و مانع انتقال رطوبت کافی برای وقوع بارش‌های سیل آسا شده است. اما همچنان که پیداست در الگوی دوم مقدار کاهش رطوبت از جنوب به شمال کمتر بوده که این امر به علت فعال بودن واچرخند دریای عرب و قدرت این واچرخند در انتقال رطوبت را نشان می‌دهد. در مجموع با افزایش ارتفاع به طرف مناطق شمالی عمدتا سامانه‌های بارشی رطوبت خود را از دست داده‌اند و ناهمواری‌ها مانع پراکنش مناسب رطوبت در سطح استان شده‌اند به همین دلیل در مناطق شمالی نسبت به مناطق جنوبی شدت بارش ها ضعیف تر بوده است.



شکل ۷- (f) رطوبت ویژه ($gr.kg^{-1}$) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در مقیاس وسیع و (g) وزش رطوبتی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در ۲۷ مارس

Figure 7- (f) Specific humidity ($gr*kg^{-1}$) at 850 hPa on a large scale and (g) humidity advection at 850 hPa on 27 March



شکل ۸- مقادیر یاخته‌ای (۰,۲۵°×۰,۲۵) رطوبت ویژه سیستم‌های بارش زا برای (a) الگوهای اول (۷ژوئن) (b) الگوی دوم دوم (۳۱ مارس) و (c) الگوی سوم (۲۷ مارس) در راستای طول جغرافیای ۶۰,۵ و بین عرض‌های جغرافیای ۲۵ تا ۳۱ درجه شمالی (از جنوب به شمال) در ۳ تراز ۱۰۰۰، ۸۵۰ و ۷۰۰

Figure 8- Cell values (0.25 ° × 0.25°) of specific humidity of precipitation systems for (a) the first pattern (June 7) (b) the second pattern (March 31) and (c) the third pattern (March 27) in The longitude direction is 60.5 and between latitudes 25 to 31 degrees north (from south to north) at 3 levels of 1000, 850 and 700 hPa

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس آمار بارش شش ایستگاه سینوپتیک طی بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۷۹ تعداد روزهای بارشی در فصل بهار و تابستان از ۳۲ روز در چابهار تا ۱۱۷ روز در خاش متغیر است اما در دوره آماری مورد مطالعه وقوع بارش‌های سیل‌آسا و فراگیر نتیجه استقرار سه الگوی گردشی بزرگ مقیاس حاره‌ای و جنب حاره‌ای بوده‌اند. بررسی سازوکار هواشناختی آنها نشان داد که در الگوی اول (طوفان حاره‌ای گونو) تکوین پر ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با منحنی بسته ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل متر بر روی شبه قاره هند مانع حرکت طوفان به طرف شرق شده و با ورود طوفان به جنوب شرق ایران و در مناطق نزدیک به هسته اصلی طوفان افت فشار سطحی و حرکت چرخندی رخ داده است و بر اثر مجاورت منطقه با هسته اصلی طوفان و محل بیشینه‌ی شدت صعود (بیش از ۳,۵ پاسکال بر ثانیه) و تزریق هوای گرم و مرطوب (بیش از ۱۶ گرم بر کیلوگرم) بارش سنگینی رخ داده که شدیدترین بارش ۲۴ ساعته نسبت به الگوی دوم و سوم است. در این الگو انتقال حجم عظیمی از رطوبت دریای عرب، دریای عمان و اقیانوس هند به جنوب شرق ایران مشهود است و این مساله می‌تواند در دهه‌های آتی و افزایش دمای سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها ناشی از گرمایش جهانی، زنگ خطری برای رخداد سیلاب در جنوب شرق کشور باشد. در خصوص الگوی دوم (بلاکینگ امگا) می‌توان به نقش

تقویت شده‌ی پرفشار آزور و عملکرد آن به صورت یک مانع در برابر بادهای غربی اشاره داشت که موجب دوشاخه شدن آنها شده و تکوین یک الگوی بندالی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده است. فعالیت پر فشار سیبری ناپایداری‌های ناشی از این الگوی اقلیمی را تشدید کرده است. در این الگو استان سیستان و بلوچستان در زیر محور فرود (محل بیشینه تاوایی نسبی) قرار گرفته و چرخندگی مثبت در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حکایت از واگرایی مناسب سطوح میانی برای تقویت شرایط صعودی در این روز دارد. به دلیل سکون و حرکت کند این سامانه شاهد "فراگیرترین بارش ۲۴ ساعته" نسبت به دو الگوی دیگر بوده‌ایم. سرچشمه رطوبت بارش‌ها در این روز رودخانه‌ی اتمسفری است که این جریان عظیم رطوبتی که از استوا با جهت‌گیری شمال شرقی به حرکت درآمده و در بخش جنوبی دریای سرخ تقویت شده و از جنوب شبه جزیره عربستان وارد دریای عمان شده است. در نهایت در الگوی سوم (فرود تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) عمیق شدن تراف میانی وردسپهر باعث واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده و در این وضعیت منطقه مورد مطالعه در جلوی محور فرود قرار گرفته است. از طرفی هم پیوندی پرفشار سیبری و پرفشار شمال اروپا و فرارفت هوای سرد این دو پرفشار به جنوب شرق ایران باعث تشدید ناپایداری شده است. رودخانه اتمسفری که در الگوی دوم تغذیه رطوبتی بارش‌ها را انجام داده بود در این الگو نیز تاثیر عمده‌ای بر تامین رطوبت بارش‌ها داشته است هر چند با شدتی کمتر.

از نقاط مشترک هر سه الگوی بارشی سیل‌آسا، برقراری شار رطوبت از سطح زمین تا تراز ۷۰۰، شدت انتقال رطوبت در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و کاهش رطوبت جوی در هر سه تراز سطح زمین، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال از جنوب تا شمال استان است که عمدتا به دلیل فاصله از منابع رطوبتی و همچنین چینش و ارتفاع ناهمواری استان سیستان و بلوچستان بوده است (۵ و ۲۱) و با نتایج پژوهش خسروی (۱۳۹۸) و علیجانی و همکاران (۲۱ و ۴) و لشکری و خزایی (۲۲) همخوانی دارد. بررسی ویژگی‌های هواشناختی این سامانه‌های بارشی یافته‌های سایر پژوهشگران اکبری و نودهی (۳) را مبنی بر رخداد بارش های سیل‌آسای تابستانه در شرق کشور تایید می‌نماید و مبتنی بر این است که در جنوب شرق ایران اغتشاشات سطوح بالا فراوان‌ترین عامل صعود و عامل اصلی کاهش بارش سنگین در این مناطق نرسیدن بخار آب کافی به منطقه است و از نظر الگوهای همدید شناسایی شده شباهت دارد (۴، ۲۱ و ۳۶). در نهایت بایستی تاکید نمود که امکان وقوع بارش در فصل بهار نسبت به فصل تابستان به علت گرادیان حرارتی مناسب در جنوب شرق ایران و فعالیت پرفشار سیبری و پرفشار شمال اروپا، شرایط جبهه‌زایی در این مناطق فراهم است.

منابع

1- Ahmadi M., and Jafari F. 2018. Complete Routing and Synoptic Analysis A Study Sample of Systems Leading to Heavy Rainfall of More Than 50 mm in Southern Iran, Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 5th Year, No. 3: 83-102. (In Persian with English abstract)

2- Akbary M. 2015. Combinatory Mediterranean-Sudanese systems role in the occurrence of heavy rainfalls (case study: south west of Iran), Meteorology and Atmospheric Physics, 2015, DOI:10.1007/s00703-015-0389-x.

3- Akbary M., and Nodehi V. 2015. Analysis of trends in annual and summer rainfall of Golestan Province, Geographical Planning of Space Quarterly Journal 5(17): 141-150. (In Persian with English abstract)

4- Alijani B., Hashemi-Ana S., Abbasnia M., and Pour Hashemi S. 2014. Analysis of Dynamic, Thermodynamic and Synoptic Conditions of Flood Precipitation in the dry Area of Southeastern Iran, Geography and Environmental Stability 13: 28-13. (In Persian)

5- Alijani B. 2017. Climate of Iran, Payam-e-Noor Publication, Number of pages 236.

6- Arabi Z. 2005. Synoptic analysis of rainfall from July 17 to 21, 1999 in Iran, Geographical Research, 56: 15-1. (In Persian)

7- Ashley S.T., and Ashley W.S. 2008. Flood fatalities in the United States. Journal Appl. Meteor. Climatology 47: 805–818, https://doi.org/10.1175/2007JAMC1611.1

8- Moore B., White A., Gottas J., and Neiman P. 2020. Extreme Precipitation Events in Northern California during Winter 2016–17: Multiscale Analysis and Climatological Perspective، Monthly Weather Review 148(3): 1049–1074.

9- Borzoo F., and Azizi Gh. 2014. Proposing a simple criterion for estimating heavy rainfall in different regions of Iran, Natural Geography Research, Volume 47, and Number 3. (In Persian with English abstract)

10- Chakraborty A. 2016. A synoptic-scale perspective of heavy rainfall over Chennai in November 2015, doi: 10.18520/cs/v111/i1/198-201.

11- Dargahian F., Alijani B., and Mohammadi H. 2014. Synoptic study of pressure patterns associated with blocking affecting the occurrence of continuous rainfall (5 days and more) and heavy rains in Iran: in the cold season of 2012-1993. Geography and Environmental Hazards 10: 173-155. (In Persian)

12- Dostkamian M., and Mirmousavi S.H. 2015. Analysis of Extreme Precipitation Clusters in Iran, Geography and Development 41: 146-131. (In Persian)

13- Farajzadeh M. 2014. Climatic hazards of Iran, Samat Publications, number of pages: 348.

14- Farajzadeh M. Moghli M., and Afshari Far M. 2016. Analysis of the role of monsoon systems in precipitation in southeastern Iran, Proceedings of the conference on geophysical development potentials in the oceanic coasts of southeastern Iran. (In Persian)

15- Fritz Hermann M., Blount C.D., Albusaidi F.B., and Al-Harthy A.H. 2010. Cyclone Gonu Storm Surge in the Gulf of Oman. Indian Ocean Tropical Cyclones and Climatic Change Publisher; Springer; DOI: 10.1007/978-90-481-3109-9_30

16- Ghaderi H., and Alijani B. 2010. Synoptic Analysis of Larestan Severe Precipitations, Journal of Physical Geography, Third Year, No. 8, Summer 2010. (In Persian with English abstract)

17- Jennrich G.C., Furtado J.C., Basara J.B., and Martin E. 2020. Synoptic Characteristics of 14-Day Extreme Precipitation Events across the United States, Journal Climate 33(15): 6423–6440.

18- Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO); Office of National Reference of the International Pannel of Climate Change (IPCC) of the Climatological Research Institute - Mashhad, in collaboration with: National Center for Drought and Crisis Management of the Meteorological Research Institute. Detection, evaluation of the effects and prospects of climate change in Iran during the 21st century, 2017.

19- IPCC, Climate Change. 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., and White L.L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp., 2014.

20- Glisan J.M., Gutowski Jr W.J., Cassano J.J., Cassano E.N., Mark W., Kharin V.V., and Zwiers F.W. 2005. Estimating extremes in transient climate change simulations. Journal Climate 18: 1156– 1173.

21- Khosravi M. 2019. A Survey on the of the Summer Precipitation Events Moisture Supply Resources of Southeast of Iran. 12(41): 127-144.

22- Lashkari H. 2005. Synoptic Analysis of two patterns of winter rainfalls in southeast of Iran, Modarres Quarterly, Volume 9, Number 1, Spring 2005. (In Persian with English abstract)

23- Lashkari H., and Khazaei M. 2014. Synoptic analysis of heavy rainfall in Sistan and Baluchestan province, Sepehr Geographical Information Journal 23(1-90): 70-85. (In Persian with English abstract)

24- Luo Y., Mengwen W., Fumin R., Jian L., and Wai-Kin W. 2016. Synoptic Situations of Extreme Hourly Precipitation over China, Journal of Climate.29; 24, 8703-8719. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0057.1.

25- Mafakheri O., Saligheh M., Alijani B., and Akbary M. 2016. The Hazards of Rainfall Concentration in Iran. Journal of Geography and Environmental Hazards 6(3): 143-162. (In Persian with English abstract)

26- Meehl G.A., Covey C., Delworth T., Latif M., McAvaney B., Mitchell J.F.B., Stouffer R.J., and Taylor K.E. 2007. The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. Bull. Amer. Meteor. Soc., 88: 1383–1394.

27- Wu M., Wu C.C., Yen T.H., and Luo Yali. 2017. Synoptic Analysis of Extreme Hourly Precipitation in Taiwan during 2003–12، Journal of Monthly Weather Review 145(12): 5123–5140.

28- Montazeri M., Nami M.H., and Dalaei H. 2013. Synoptic Analysis of Heavy Rainfall November 21, 2011. Kohkiluyeh and Boyer-Ahmad Province Sarzamin Geographical Journal; 10, 37; 77-89. (In Persian with English abstract)

29- Omidvar K., and Torki M. 2013. Identifying patterns of heavy rainfall in Chaharmahal and Bakhtiari province, The Journal of Spatial Planning, 16(4): 135-170. (In Persian)

30- Parand Khorani A., and Lashkari H. 2011. Heavy Storms in Southern Iran (Case Study of December 31, 1984 to January 4, 1985, Dalaki River Watershed, Journal of Geography and Environmental Planning, 22(41): 136-123. (In Persian)

31- Bohlinger P., Sorteberg A., and Sodemann A. 2017. Synoptic Conditions and Moisture Sources Actuating Extreme Precipitation in Nepal, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122, 12,653–12,671. https://doi.org/10.1002/2017JD027543

32- Pourasghar F, Jahanbakhsh S, Sari Sarraf B., Ghaemi H., and Tadayoni M. 2012. Zoning of precipitation regime in the southern half of Iran, Journal of Geography and Planning 17(44): 26-46.

33- Rahimi D., Khoshhal J., and Alizadeh T. 2010. Statitistical-Synoptic Analysis of Heavy Precipitations of Dry Lands, Journal of Geography and Regional Planning, No. 14. (In Persian)

34- Rastgoo Z., and Ranjbar Saadatabadi A. 2018. Study of heavy and moderate rainfall in Bushehr province from a synoptic-dynamic perspective, Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences, 1(1): 96-77. (In Persian with English abstract)

35- Rasouli A.A. 2004. Modeling of lightning in Tabriz city from the perspective of flood risk, International Conference on Natural Disasters, 5-7 October 2004, University of Tabriz. Schumacher, R. S., and R. H. Johnson, 2006: Characteristics of U.S. extreme rain events during 1999–2003. Wea. Forecasting, 21: 69–85. (In Persian)
36- Saliqeh M. 2001. Synoptic Patterns of Summer Precipitation in Southeastern Iran, Geographical Research Quarterly, Article Number: 521. (In Persian)
37- Saliqeh M. 2005. Precipitation mechanism of the southeast of the country, Journal of Physical Geography Research-No. 55. (In Persian)
38- Špitalar M., Gourley J.J., Lutoff C., Kirstetter P.-E., Brilly M., and Carr N. 2014. Analysis of flash flood parameters and human impacts in the US from 2006 to 2012. Journal of Hydrology., 519: 863–870, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.07.004
39- Tebaldi C., Hayhoe K., Arblaster J.M., and Meehl G.A. 2006. Going to the extremes: An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. Climatic Change 79: 185–2113.
40- Vahdani I. 2013. Book of Weather and Climatology, First Issue. Aeezh Publication.
41- Yu M., Miao S., and Li Q. 2016. Synoptic analysis and urban signatures of a heavy rainfall on 7 August 2015 in Beijing, Journal of Geophysical Research: atmospheres,122: 65-78., https://doi.org/10.1002/2016JD025420.
42- Zwiers F.W., and Kharin V.V. 1998. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO_2 doubling. Journal Climate 11: 2200–2222.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 6, Feb.-Mar. 2022, p. 891-907

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۴۰۰، ص. ۹۰۷-۸۹۱

Climatological Analysis of Extreme and Widespread Precipitations in Southeast of Iran

M. Moahmmadi[1]-M. Akbary [2]*

Received: 03-07-2021
Accepted: 17-01-2022

Introduction: Sistan and Baluchestan Province, in southeast of Iran, is covering about 11 percent of the whole space of the country but is one of the driest provinces in Iran and its average annual rainfall is about 110 mm. The purpose of this study was to identify large-scale atmospheric circulation patterns causing extreme and widespread rainfalls during the warm seasons (spring and summer) in southeast of Iran (Sistan and Baluchestan province).

Data and Methodology: Precipitation data of 6 synoptic stations of Sistan and Baluchestan province during a 30-year statistical period (1979-1998) were obtained from Meteorological Organization of Iran (IRIMO). The intensity of precipitation based on 90th percentile threshold and widespread precipitation index of at least ≥50% of the studied area were calculated. To identify the synoptic patterns of the upper atmosphere, the ERA5 data of the ECMWF European Center of Med-Latitude Weather Forecast with spatial resolution of 0.25° × 0.25° were obtained. The collected atmospheric parameters included mean sea level pressure (mslp), geopotential height (z), specific humidity (q), zonal (U) and meridional (V) wind components, relative vorticity (rv) and omega (w) and maps of the upper atmosphere were drawn at different levels using Gards software in the domain of 10 to 70E and 10 to 90N. Regarding the two selected characteristics, three events of heavy and widespread precipitation were determined.

Results and Discussion: By analyzing the daily rainfall data over a period of 30 years (2018-1988) during the warm months of the year, the number of days with torrential and widespread rainfall in Sistan and Baluchestan province were determined. According to the index the previously defined floods and mudslides were obtained for 3 days with torrential and widespread floods that often occur in the spring, which are categorized to three main patterns including: 1- Gono Tropical Storm 2- Omega Blocking and 3 – 500 hpa trough system. The results showed that during the maximum 24-hour precipitation, in the first synoptic pattern, the southern cities of the province received the maximum precipitation due to the proximity of the storm's core, but gradually from southern to northern latitudes, the rainfall declined considerably so that Chahbahar station had the maximum rainfall and Zabol station recorded zero rainfall. The storm is expected to move eastward as it moves to higher latitudes, but the high pressure formed on the Indian subcontinent acted as a barrier and directed the storm to the west, thus affecting the southern regions of Iran. In the second and third pattern, the location of Sistan and Baluchestan province in front of the trough axis and advection of cold weather of the northern latitudes were the main causes of instability that lead to heavy rainfall. The moisture of these rainfalls was obtained from Oman, Arabian Sea and Indian Ocean respectively. In the second pattern, the anticyclonic clockwise motions of the Arabian Sea has provided the moisture for extreme precipitation events. Common points of all three precipitation patterns are atmospheric moisture reduction in all three levels of the earth, 850 and 700 hectopascals from south to north of the province. This is mainly due to the distance from moisture sources as well as the arrangement and height of the roughness of Sistan and Baluchestan province, which has caused moisture trapping and prevented the transfer of sufficient moisture for the occurrence of torrential rains. In the second model, the amount of moisture reduction from south to north is less, which indicates the activity of the Arabian Sea high pressure and the power of this high pressure in moisture transfer. In general, with increasing altitude towards the northern regions, mainly rainfall systems have lost their moisture and unevenness has prevented the proper distribution of moisture in the province.

Conclusion: In southeastern Iran, the spatial distribution of precipitation is strongly influenced by the proximity to the sea and the location of the topographic features. Upper air levels turbulences are the most common cause of air mass rise. The main factor in reducing heavy rainfalls in northern areas of Sistan and Baluchestan is the lack of sufficient water vapor to reach these areas. Extreme rainfall is more likely to occur in

1 and 2- M.Sc. and Associate Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mehryakbary@khu.ac.ir)
DOI: 10.22067/JSW.2022.68783.1024

spring than in summer due to the appropriate thermal gradient in southeastern Iran. Finally, the results of the study showed that the possibility of precipitation in spring compared to summer due to the appropriate temperature gradient in southeastern Iran and the activity of Siberian and Northern European high pressure, the conditions for fronting in these areas are provided. Since the humidity of the southern oceans through atmospheric rivers has been effective in the occurrence of heavy rainfall in southeastern Iran, rising temperatures in the southern oceans due to global warming can strengthen moisture flows in the future and from this route to affect the intensity of rainfall in southeastern Iran.

Keywords: Extreme precipitation, Sistan and Baluchestan, Widespread precipitation